

プラズマディタッチメントの計算機シミュレーション

鈴 康平 [1]; 羽田 亨 [2]; 松清 修一 [3]
[1] 九大・総理工・大海; [2] 九大総理工; [3] 九大・総理工

Numerical simulation of plasma detachment

Kohei Suzu[1]; Tohru Hada[2]; Shuichi Matsukiyo[3]
[1] ESST, Kyushu Univ.; [2] ESST, Kyushu Univ.; [3] ESST Kyushu Univ.

Recent space exploration projects are highly developed both in terms of scientific objectives and technologies involved. Accordingly, electric thrusters with long time duration and high performance are considered indispensable, in particular for long-term space missions such as those to outer planets. The performance of many of the conventional electric thrusters (e.g., ion engines) is limited by electrode wastage due to the direct contact of the electrodes with plasma. In order to overcome this difficulty, we are involved in research and development of electrodeless thrusters, in which there is no direct contact between the plasma and the electrodes.

One of the central issues of the electric thrusters is the plasma detachment, the process where the accelerated plasma travels far away and “detached” from the magnetic field originating from the thruster. If the plasma remains guided by the magnetic field, it does not escape into free space and no thrust will be obtained as a result.

In order to identify the conditions where the detachment takes place and also to understand the physics of the plasma detachment in detail, we are performing computer simulations of the plasma detachment using PIC (Particle-In-Cell) code. First we produce the diverging magnetic field by a pair of d.c. currents, a continuous stream of both electrons and ions are provided at a central region of the simulation domain, imitating the acceleration region of the thruster. Plasma flows from the region with intense magnetic field to the region with weak magnetic field, which is similar to the transition of the solar wind from sub-sonic to super-sonic to the Alfvén speed. The plasma with enough initial motional energy density can drag the magnetic field and eventually escape from it as the ions become un-magnetized. We show under what conditions the plasma can be detached from the thruster, and also discuss details of the particle orbits and a curious wavy structures observed in electron trajectories.

近年の宇宙探査は高度化・長期化し、宇宙探査機・宇宙船等に使用される推進機関には更なる長寿命化が求められている。従来のイオンエンジン等の有電極型推進法は、プラズマの放出時に電極がプラズマに接触するため、電極摩耗による寿命の制限が問題となっている。これを解決するために、プラズマ生成、プラズマ加速、プラズマ分離の3段階ともに電極とプラズマが接触しない完全無電極型推進法が有望視されている。

ここでは、プラズマ分離（プラズマディタッチメント）について考える。磁化されたプラズマは磁場に沿って運動する。推進機関起源の背景磁場はループ状になっているため、もしもプラズマが完全に磁場に捕捉されていれば、放出されたプラズマは推進機関に戻ってきてしまい、推進力は得られない。

我々は、PIC (Particle-In-Cell) 法によりプラズマディタッチメントの計算機シミュレーションを行っている。まず直流電流のペアにより発散磁場を作り、この中心部分からプラズマ流を発生させる。プラズマ流は強磁場領域から遠方の弱磁場領域に拡がって行くが、これはアルフヴェンマッハ数が1よりも小さい「亜音速」の領域から1よりも大きい「超音速」の領域への移動であり、太陽風の加速過程と物理的に同等である。十分な初期運動エネルギー密度を与えられたプラズマは、磁場をともなって拡がり、ディタッチされる。そうでない場合、プラズマは磁場に捕捉されつづけ、ディタッチされない。ディタッチされる場合とされない場合のパラメータ領域の検証、プラズマ軌道の解析、またプラズマ流にみられる波動構造などについて報告する。